

99/07440  
**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

EP 99  
07440

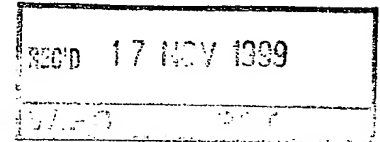


4

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

09/806739

**Bescheinigung**



Die F.I.T. Messtechnik GmbH in Bad Salzdetfurth/Deutschland hat eine Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"Meß- und Prüfgerät für Material-Inhomogenitäten"

am 6. Oktober 1998 beim Deutschen Patent- und Markenamt eingereicht.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patent- und Markenamt vorläufig das Symbol G 01 N 27/72 der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

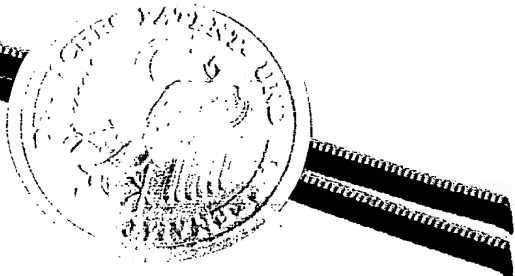
München, den 25. Oktober 1999

**Deutsches Patent- und Markenamt**

**Der Präsident**

Im Auftrag

Nietied.



Aktenzeichen: 198 46 025.2

14 03 11



4  
Belegexemplar  
Darf nicht geändert werden

## Anlage zum Antrag auf Erteilung eines Patentes

**Titel:** Meß- und Prüfgerät für Material-Inhomogenitäten

Die Erfindung betrifft ein Meß- und Prüfgerät zur Feststellung und Lokalisierung von Material-Inhomogenitäten in elektrisch leitenden Werkstücken. Das Gerät mißt und prüft zerstörungsfrei. Das Gerät stellt im Meßobjekt die Temperatur bzw. den Temperaturgradienten gezielt ein und mißt das Magnetfeld außerhalb des Meßobjektes. Charakteristische Magnetfeldsignaturen kommen auf Grund unterschiedlicher physikalischer Effekte zustande. Zu diesen gehören die Temperaturabhängigkeit der Suszeptibilität, thermoelektrische Effekte und thermomagnetische Effekte.

Der Stand der Technik bezüglich magnetischer Messungen in der zerstörungsfreien Prüfung ist wie folgt. Bei der Prüfung auf ferromagnetische Einschlüsse wird das Werkstück vormagnetisiert und anschließend mit einem Magnetfeldmeßgerät abgetastet [1], [2]. Über die Abtastung in mindestens zwei Ebenen kann auf die Tiefenlage der Einschlüsse geschlossen werden. Bei der Prüfung auf nicht ferromagnetische Einschlüsse oder Inhomogenitäten wird das Werkstück in ein externes Magnetfeld gebracht, dieses kann auch das natürlich vorhandene Erdfeld sein. Auf Grund von Suszeptibilitätsschwankungen im Werkstück ist das Magnetfeld außerhalb des Werkstückes ortsabhängig. Die Messung mit einem Magnetometer läßt Rückschlüsse auf die nicht ferromagnetischen Inhomogenitäten zu, [1], [3]. Beide Meßverfahren verwenden keine gezielte Temperaturänderung des Werkstücks.

Das mit diesem Patentantrag zu schützende Gerät nutzt u. a. folgende physikalische Effekte: Temperaturabhängigkeit der Suszeptibilität, thermoelektrische Effekte und thermomagnetische Effekte. Stand der Technik bezüglich der Nutzung dieser Effekte in der zerstörungsfreien Prüfung ist wie folgt.

Thermoelektrische Effekte werden bislang nur zur Sortierung ähnlicher Materialien angewandt, nicht zur Detektion und Lokalisierung von Inhomogenitäten [4], [5]. Darüber hinaus ist eine elektrische und mechanische Kontaktierung des Bauteils nötig.

Die unter dem Stand der Technik beschriebenen Geräte zur Magnetfeldmessung, d. h. basierend auf der Remanenz und der Suszeptibilität, haben mitunter den Nachteil, daß die Meßsignale nicht groß genug sind, um auch kleine oder weit unter der Oberfläche liegende Inhomogenitäten festzustellen und zur quantifizieren. Meßgeräte mit thermoelektrischen Effekten werden überhaupt noch nicht angewandt zur Detektion und Lokalisierung von Inhomogenitäten.

14.03.11.99

5 ~~16~~

- 2 -

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, bei Magnetfeld-gestützter zerstörungsfreier Prüfung von elektrisch leitenden Werkstücken die Magnetfeldsignale zu vergrößern und damit die Meßauflösung zu erhöhen. Dies gilt sowohl für oberflächennahe Inhomogenitäten wie auch solche, die tief unter der Oberfläche liegen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den im kennzeichnenden Teil des Hauptanspruchs gegebenen Mitteln gelöst. Die Unteransprüche erhalten bevorzugte Ausführungsdetails und -varianten.

Meßsignale, die auf Suszeptibilitätsunterschieden basieren, werden stärker, wenn dieser Unterschied größer ist. Nun wird die Suszeptibilität von vielen Materialien mit abnehmender Temperatur größer. Sie ist häufig etwa proportional zum Kehrwert der absoluten Temperatur. Ein Kühlen des Werkstücks erhöht daher die Suszeptibilität von Grundmaterial und Einschuß und damit auch von der Differenz von beiden [6]. Die Abkühlung ist kontrastverstärkend. Dieses auf Suszeptibilitätsunterschieden bestehende Meßverfahren erlaubt, auch tief unter der Oberfläche liegende Inhomogenitäten zu detektieren.

Von den thermoelektrischen Effekten werden in diesem Zusammenhang u. a. der Seebeck-Effekt und der 1. Benedicks-Effekt genutzt [7].

Wenn zwei Kontaktstellen zwischen zwei unterschiedlichen Materialien auf unterschiedlicher Temperatur liegen, entsteht zwischen ihnen eine elektrische Spannung. Dies ist die Thermospannung, der Effekt ist der Seebeck-Effekt. In dem zu prüfenden Bauteil werden diese Kontaktstellen durch die Grenzschicht zwischen Grundmaterial und Einschuß gebildet. Wenn ein Temperaturgradient über dem Einschuß liegt, ist die Voraussetzung für die Entstehung von Thermospannungen und Thermoströmen gegeben. Diese Ströme wiederum erzeugen auch außerhalb des Prüfobjektes ein Magnetfeld, das es mit dem Magnetfeldmeßgerät zu detektieren gilt. Der angesprochene Temperaturgradient kann durch Kühlen oder Erwärmen hergestellt werden. Das Vorzeichen des erzeugten Magnetfeldes gibt zusammen mit dem Vorzeichen des Temperaturgradienten Hinweise auf die Materialklasse der Einschlüsse. Die hierbei zu detektierenden Einschlüsse müssen elektrisch leitend sein.

Risse oder isolierende Einschlüsse in ansonsten homogenem Material können über den 1. Benedicks-Effekt detektiert werden. Nach ihm entsteht in einem homogenen Leiter eine Thermospannung, wenn ein hohes Temperaturgefälle vorliegt [7]. Diese Thermospannung wiederum hat Thermoströme zur Folge, deren Verteilung durch Risse und isolierende Einschlüsse gestört wird. Entsprechende Änderungen im Magnetfeld, das durch diese Ströme außerhalb des Prüfobjektes erzeugt wird, können detektiert werden.

14.03.1999

6 ~~12~~

- 3 -

Gemäß der Erfindung werden die thermoelektrischen Effekte beobachtet, ohne elektrisch und mechanisch zu kontaktieren. Dies hat die Vorteile, daß Fehler durch unreproduzierbare Kontakte vermieden werden, daß das Bauteil mit mehr Freiheitsgraden abgetastet werden kann, und daß dabei keine Kratzspuren hinterlassen werden.

Dieses auf thermoelektrischen Effekten basierende Meßverfahren erlaubt, auch tief unter der Oberfläche liegende Inhomogenitäten zu detektieren.

Bei Nutzung der thermoelektrischen Effekte kann das Temperaturgefälle in nacheinanderfolgenden Messungen gezielt unterschiedlich eingestellt werden. Die daraus resultierenden unterschiedlichen Meßsignale geben weitere Informationen zur untersuchten Inhomogenität, wie zum Beispiel verbesserte Lokalisierung und Formbestimmung.

Als Ausführungsbeispiel zeigt Figur 1 ein solches Meßgerät mit Meßobjekt. Das Meßobjekt ist eine kreisförmige Scheibe. Sie wird getragen von einem kurzen Rohrstück, das als Abstandshalter und Kältebrücke fungiert. Die Unterseite des Rohres ist mit Kühlflüssigkeit gekühlt. Im Meßobjekt selbst entsteht so ein Temperaturgradient, bei dem oben eine höhere und unten eine tiefere Temperatur vorliegt. Das Meßobjekt wird gedreht. An seiner Oberseite wird das Magnetfeld mit einem Magnetfeldmeßgerät abgetastet. Die Figuren 2 und 3 sind Meßschriebe, die mit einem Gerät nach Figur 1 aufgenommen wurden, wobei die Scheibe aus der Nickelbasislegierung Waspaloy bestand, mit einem Scheibendurchmesser von ca. 180 mm und einer Scheibendicke von ca. 40 mm. An der Oberfläche war durch Seigerungsätzen unter dem Winkel  $\phi = 190^\circ$  eine Hard- $\alpha$ -Seigerung erkannt und lokalisiert worden.

In den Figuren 2 und 3 wurde als Magnetfeldmeßgerät ein SQUID-Gradiometer 2. Ordnung genutzt, das die Normalenkomponente des Magnetfeldes auf der Werkstückoberfläche mißt [1].

Figur 2 zeigt das ausgeprägte Meßsignal an der Stelle der Seigerung, hervorgerufen durch Ströme, die gemäß dem Seebeck-Effekt in der Scheibe fließen. In Figur 2 ist der Temperaturgradient sehr stark eingestellt, damit ist das Meßsignal sehr ausgeprägt. Unter sonst gleichen Bedingungen zeigt Figur 3 die Messung bei schwächer eingestelltem Temperaturgradienten mit entsprechend weniger stark ausgeprägtem Meßsignal.

M 03.11.99

7 ~~18~~

- 4 -

#### Literaturhinweise:

- [1] Tavrín, Y., Hinken, J. H.: First Routine Aircraft NDT SQUID Gradiometer. 7th European Conference on non-destructive testing, Copenhagen, 1998, Proceedings, pp. 3246-3253.
- [2] Magnetoscop 1.068, Druckschrift der Fa. Institut Dr. Förster, 04/95.
- [3] Wikswo, J. P. et al.: Magnetic susceptibility imaging for non-destructive evaluation. IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 3, No. 1, March 1993, p. 1995-2002.
- [4] McMaster, Robert C. (Hrsg.): Non-destructive Testing Handbook, Second Edition, vol.4, Electromagnetic Testing, American Society for Non-destructive Testing, 1986, S. 240, 241: Thermoelectric Sorting.
- [5] Karolik, A. S., Lukhovich, A. A.: Evaluation of the variation of thermoelectric power in thermoelectric inspection of chemical composition. Sov. J. Nondestruct. Test. (USA), vo. 26, no. 10, Oct. 1990, p. 712-15.
- [6] Schultz, W.: Dielektrische und magnetische Eigenschaften der Werkstoffe, Vieweg, Braunschweig, 1970, S. 80
- [7] Schubert, Joachim: Physikalische Effekte, Physik-Verlag, Weinheim 1984.

11.03.99

J 8  
15

- 5 -

### Patentansprüche

1. Meß- und Prüfgerät zur Feststellung und Lokalisierung von Materialinhomogenitäten in elektrisch leitenden Werkstücken, gekennzeichnet dadurch, daß das Werkstück auf eine andere als die Umgebungstemperatur gebracht wird und das Magnetfeld außerhalb des Werkstücks gemessen wird.
2. Gerät nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß im Werkstück ein Temperaturgefälle eingestellt wird.
3. Gerät nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß als Magnetfeldmeßgerät ein SQUID-Magnetometer verwendet wird.
4. Gerät nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß als Magnetfeldmeßgerät ein SQUID-Gradiometer verwendet wird.
5. Gerät nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß die Materialinhomogenitäten Hohlräume sind.
6. Gerät nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß die Materialinhomogenitäten Risse sind.
7. Gerät nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß aus der Polarität des Meßsignals auf das Material der Inhomogenität geschlossen wird.
8. Gerät nach Ansprüchen 1 und 2 dadurch gekennzeichnet, daß zur verbesserten Lokalisierung und Formbestimmung der Inhomogenität in nacheinander folgenden Messungen das Temperaturgefälle am Ort der Inhomogenität unterschiedlich eingestellt wird.
9. Gerät nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß die Tiefenbestimmung der Inhomogenität dadurch erfolgt, daß mit dem Magnetfeldmeßgerät in nacheinanderfolgenden Messungen in unterschiedlichen Entfernungen vom Werkstück gemessen wird.
10. Gerät nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß die Tiefenbestimmung der Inhomogenität dadurch erfolgte, daß mit mehreren Magnetfeldmeßgeräten in unterschiedlichen Entfernungen vom Werkstück gleichzeitig gemessen wird.

B. S., den 1. Oktober 1998  
Hi/Qu/8426

14 03 1999

9 4/10

fit

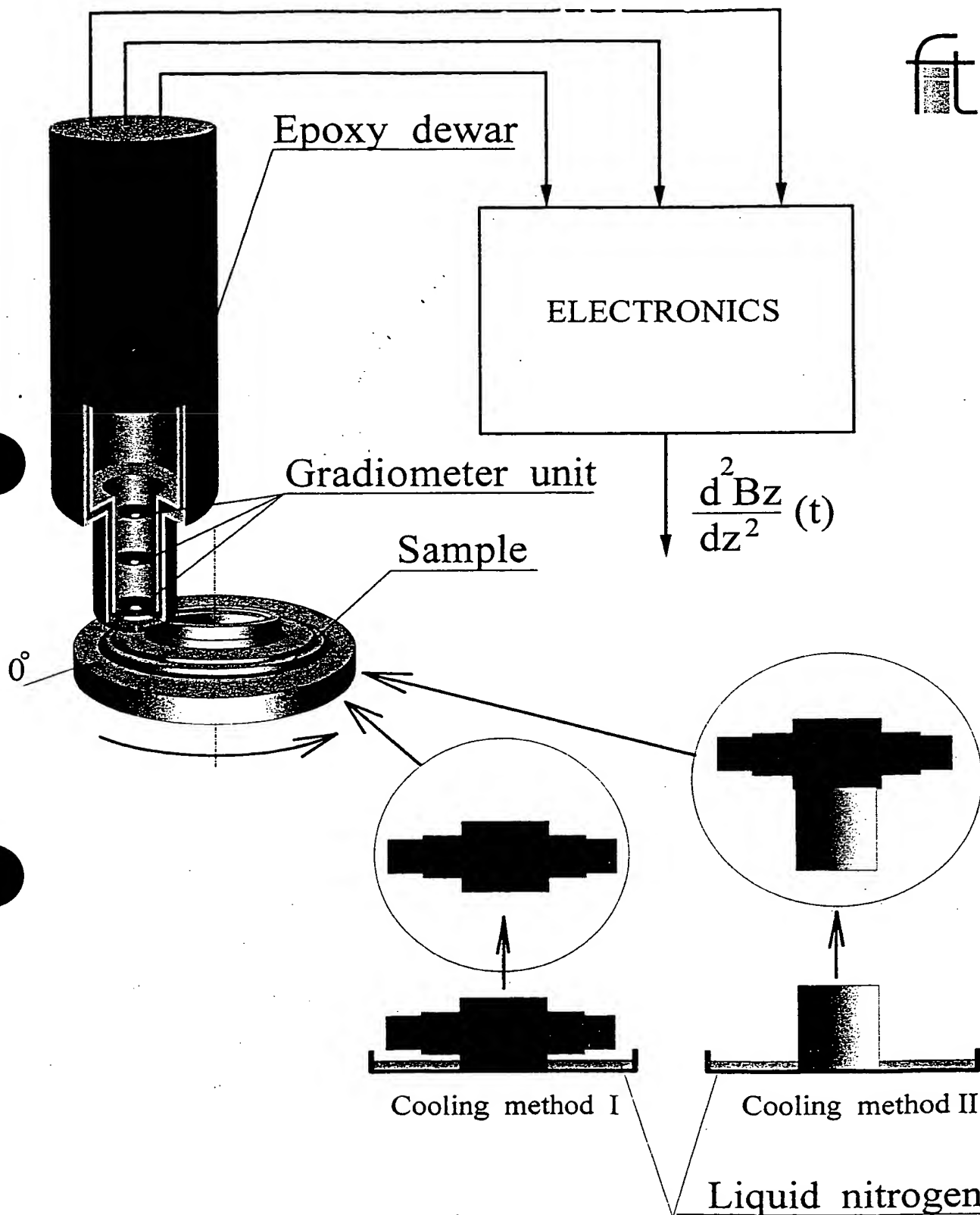
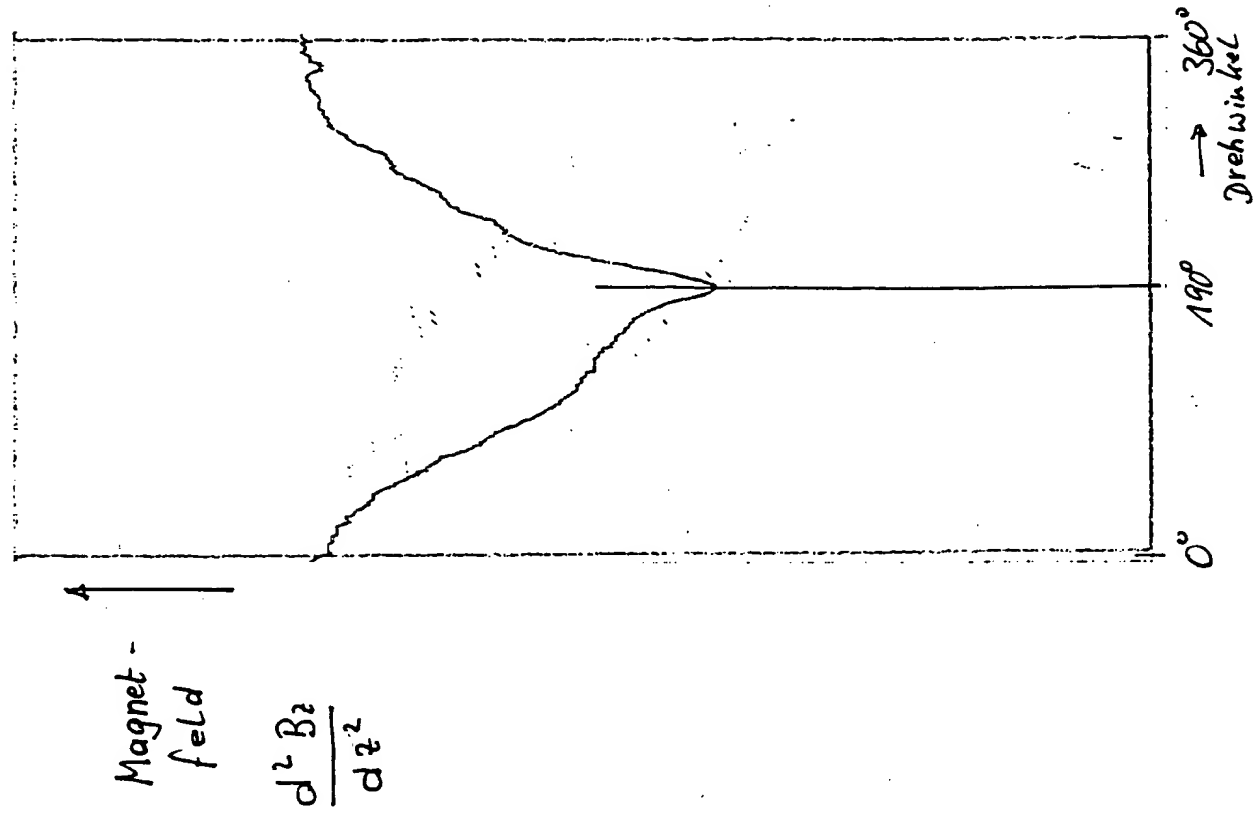


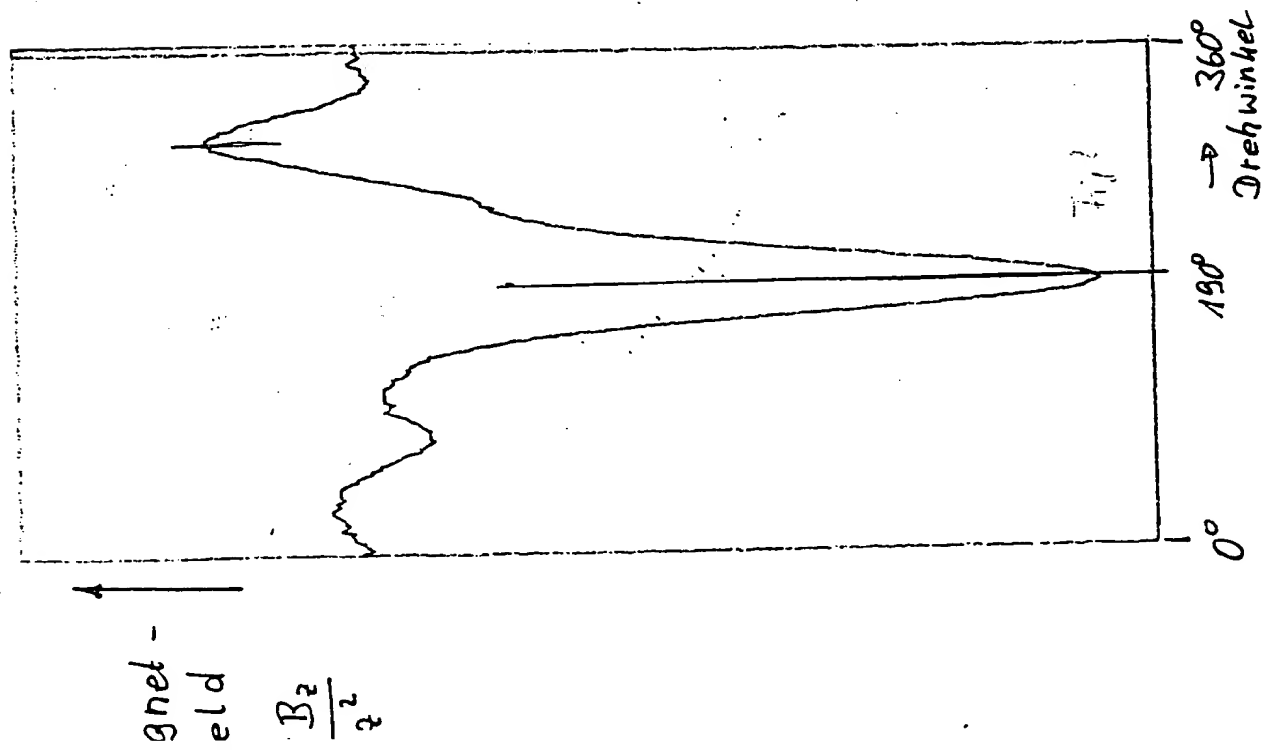
Figure 1.  
Principle view of the measuring  
setup based on the second-order  
gradiometer (HMT).

N 03.11.94

10 10 21



Figur



Figur 2